

技術紹介

10 陸上用ローコスト小型FOG慣性装置の開発

Small and Low Cost Land Navigation System (LNS) Using FOG

| | | |
|-------|-------------------|----------------|
| 上西 勝彦 | Katsuhiko Jonishi | 航機事業部 第三設計部 主任 |
| 増田 雄一 | Yuuichi Masuda | 航機事業部 第一技術部 主任 |
| 村脇 達也 | Tatsuya Murawaki | 航機事業部 第一技術部 主任 |

キーワード：慣性装置、複合航法、GPS、車速センサ、FOG、加速度計

Keywords : inertial system, hybrid navigation, GPS, vehicle speed sensor, FOG, accelerometer

要 旨

航空電子は、慣性センサ（ジャイロ、加速度計）、GPS（Global Positioning System）および車速センサの3つのセンサを使用した複合航法を行う陸上用小型慣性装置を開発しました。

本装置は、低精度な慣性センサを使用しても、GPS 及び 車速センサとの複合航法により、高精度な車両位置、方位および姿勢を提供できることを特徴としているものです。

今回、慣性センサとして航空電子製の低精度慣性センサ（ジャイロ^(注)）として FOG（Fiber Optic Gyro）を使用し、従来品と同等な性能でありながら、さらに小型、ローコスト化を図り、運用性向上などのための機能を向上した陸上用小型 FOG 慣性装置を開発しました。

注）低精度ジャイロ：バイアス精度 1°/H 程度のジャイロを意味します
高精度ジャイロ：バイアス精度 0.01°/H 程度のジャイロを意味します

SUMMARY

To date JAE has developed small inertial systems for land application, which can offer hybrid navigation by using three types of sensors, inertial sensors (gyro and accelerometer), GPS (Global Positioning System), and vehicle speed sensor. Feature of the systems is to provide high-accurate information on vehicle position, heading, and attitude, even if the inertial sensors are low accurate, by integration with GPS and vehicle speed sensor. We newly developed a small and low cost land navigation system (LNS) using our own low-accuracy inertial sensors (Fiber Optic Gyro (FOG) is used as gyro*) in order to realize further size and cost reduction and functional enhancement to improve operation while assuring the high performance equivalent to the existing systems.

*: Low-accuracy gyro refers to ones with a bias accuracy of about 1°/H while high-accuracy gyro refers to ones with a bias accuracy of about 0.01°/H.

1 まえがき

陸上用慣性装置は、「高精度慣性センサを使用した慣性装置」と、「低精度慣性センサを使用した小型慣性装置」に大別されます。高精度センサを用いた慣性装置は、高価で寸法も大きいため特殊車両（レーダ車等）への用途が主でありました。一方、小型慣性装置は、高価で大型な高精度センサを使用せず、低精度センサを使用しているため、低価格で小型であり、さらに GPS との複合航法を行なうことで高精度な慣性センサを使用した慣性装置と同等の性能を得ることができ、サイズや価格のために使用が制限されていた車両へ適用されるようになりました。

以上のように、陸上用小型慣性装置は、新たな車両への市場開拓に貢献することとなりましたが、車両による運用方法は様々であり、そのため従来の小型慣性装置の機能だけでは充分でない状況となってきました。本報では、小型、ローコスト化と併せて開発を行なった機能向上について記述します。

2 装置の概要

本装置は、以下の構成品からなり、低精度慣性センサ、GPS および車速センサを用いた複合航法計算を行い、車両の位置および姿勢・方位を計測します。

また、低精度慣性センサ（ジャイロ）には、以下理由から JAE 製の FOG を採用することとしました。

- FOG は光ファイバをコイル状に巻きつける構造を持つことから、フレキシブルな形状 及び フレキシブルな実装が可能であり、小型化が可能。
- 主要コンポーネントを内製化することにより、ローコスト化が可能。

本装置の外観を図 1、ハードウェア機能ブロックを図 2、複合航法機能ブロックを図 3、主要諸元を表 1 に示します。

〔装置構成〕

| 構成品名 | 概 要 |
|----------|---|
| 慣性航法ユニット | 電源、演算回路、入出力回路、慣性センサ（FOG、加速度計）、GPS 受信機から成り、複合航法計算を行う |
| 車速センサ | 車両の車軸の回転速度すなわち車両速度を測定する |
| GPS アンテナ | GPS 衛星信号を受信する |

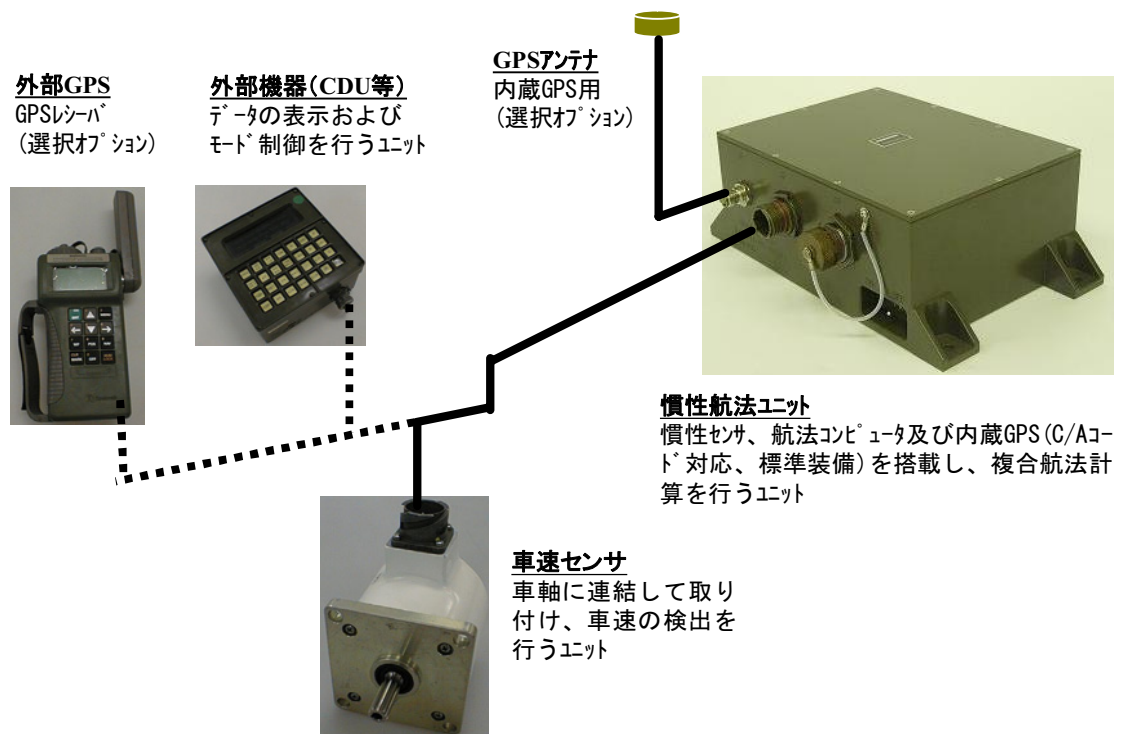


図1 外観

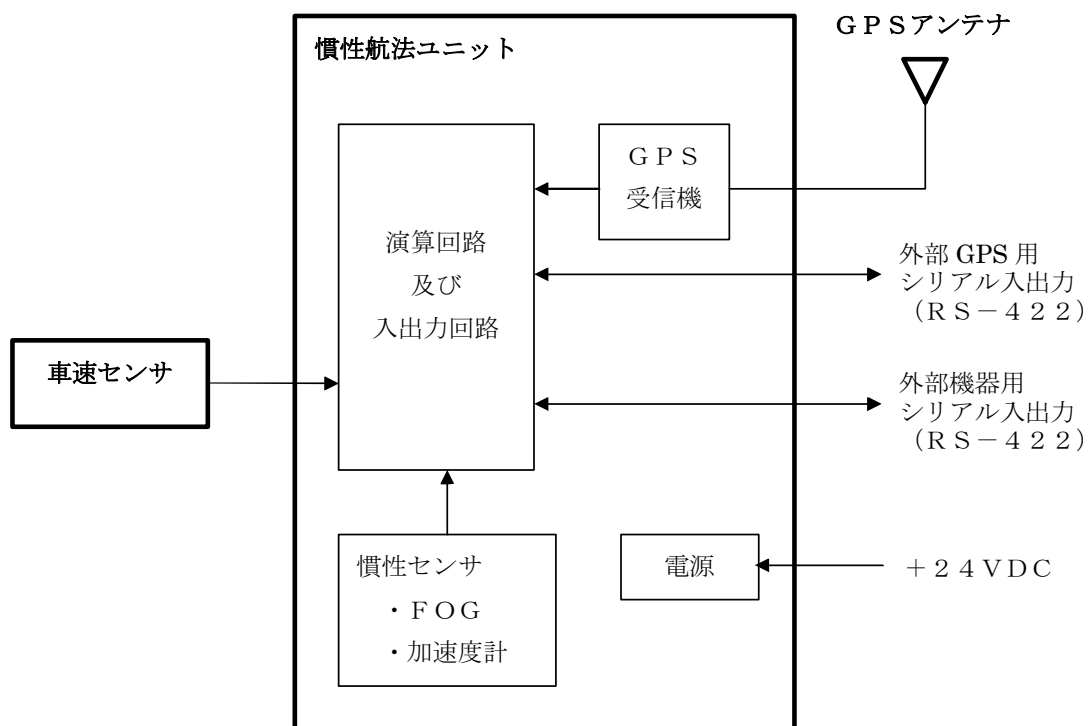


図2 ハードウェア機能ブロック図

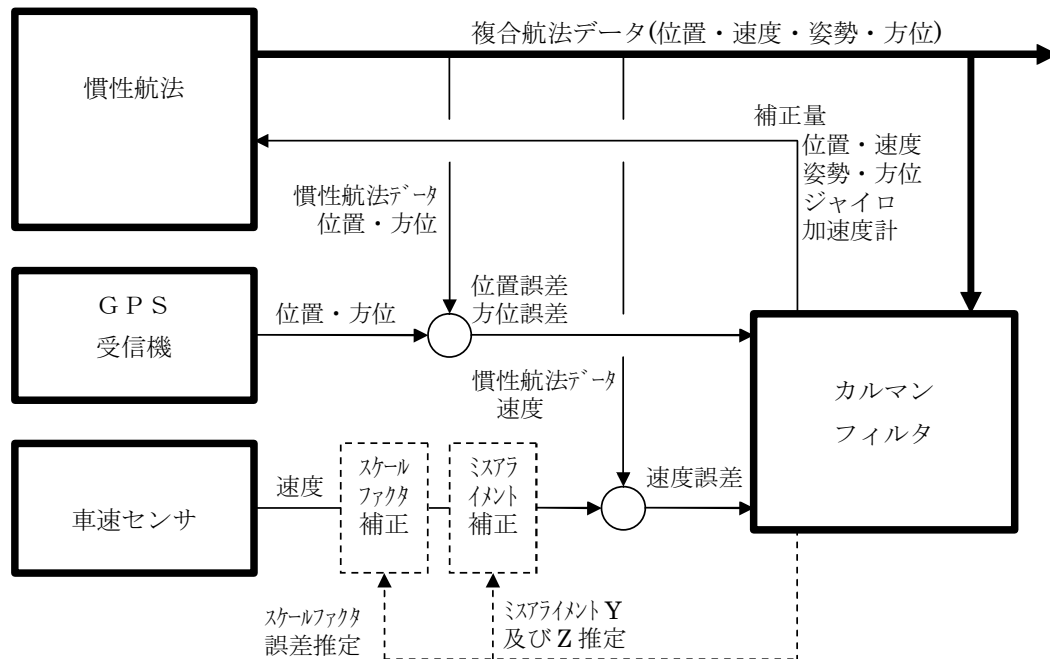


図3 複合航法機能ブロック図

表1 主要諸元

| 項目 | 諸元 |
|------|---|
| 位 置 | 10m CEP 以下 *1 |
| 高 度 | 15m RMS 以下 *1 |
| 方 位 | 0.5° RMS 以下 *1 |
| 姿 勢 | 0.1° RMS 以下 *1 |
| 使用電源 | + 24 ± 6VDC、20W 以下 |
| 寸 法 | 慣性航法ユニット：200 × 150 × 90 mm 車速センサ：95 × 95 × 95 mm |
| 質 量 | 慣性航法ユニット：3.0kg 車速センサ：1.1kg |

*1：GPS 有効度 100%、GPS 位置精度 10mCEP 以下、GPS 高度精度 15mRMS 以下において

複合航法とは図3に示すように、慣性センサの出力を基に演算された位置、速度、方位の慣性航法データとGPS及び車速センサで検出された位置、速度、方位との誤差を求め、カルマンフィルタにより補正量(位置、速度、姿勢、方位、ジャイロ、加速度計)を推定し、慣性航法データにフィードバックを行うことで、高精度な航法データを得ることを特徴とする航法です。

3 開発内容

従来の陸上用小型慣性装置は、複合航法により高精度化を実現していますが、車速センサ、低精度慣性センサ、GPS を使用していることから、運用にあたり以下の作業負荷及び使用制限があります。

- 1) 車速センサによる車両速度を正確に得るために、運用前にあらかじめ車両のタイヤ径を測定し、プログラムで設定しているノミナル値との誤差量（スケールファクタ誤差）を算出し、それを慣性航法ユニットに設定する作業が必要です。
- 2) 車速センサの機軸と車両に搭載される慣性航法ユニットの機軸との間には、取付けによるミスアライメント（機軸間のずれ角）があり、そのミスアライメント量を測定し調整するのは困難です。
- 3) GPS は、ある程度の速い速度で移動している場合に正確な方位角が得られるものであり、静止時は不定であるため複合航法に使用する方位角を提供できません。そのため、静止時は、低精度な慣性センサによる方位角計算を行うこととなり、方位角の精度が劣化するので長時間の静止の運用には向きません。

今回、これら作業負荷及び使用制限に対応するため以下の機能を開発しました。

- 車速センサ調整機能
- 方位角スレーブ機能

3.1 車速センサ調整機能

車速センサ調整機能は、従来、作業者が計測していた車速センサのスケールファクタ誤差や作業者では測定困難な取り付けミスアライメント量を、実運用前に車両を走行させることで推定し、その推定値を慣性航法ユニット内に保存する機能です。ミスアライメントの定義を図 4 に示します。

車速センサ調整機能は、位置、速度、方位・姿勢等の補正量の他に、車速センサのスケールファクタ誤差とミスアライメント（図 3 の破線部）をカルマンフィルタで推定し、この推定値で車速センサが検知した速度データのスケールファクタとミスアライメントを補正します。当機能は、車両走行状態で行なわれ、スケールファクタ誤差やミスアライメントの推定値が安定したのち、それを最終的な値として慣性航法ユニット内メモリに格納します。以降車両や慣性航法ユニットの搭載状況が変わらない限り同じ格納値を使用できます。

尚、複合航法における方位角は、基本的に GPS 方位角に従います。GPS 方位角は車両が進行する向き、すなわち車速センサ軸の X_0 軸と真北とのなす角であり、慣性航法ユニットの機軸 X 軸となす角ではありませんが、調整で推定されたミスアライメント量を考慮することにより慣性航法ユニットの方位角を得ることが可能です。例えば慣性航法ユニットを車両本体に取り付けるのではなく、同じ車両に搭載された回転台（レーダー等）などに取り付ければ、この回転台の方位角を得ることが可能です。

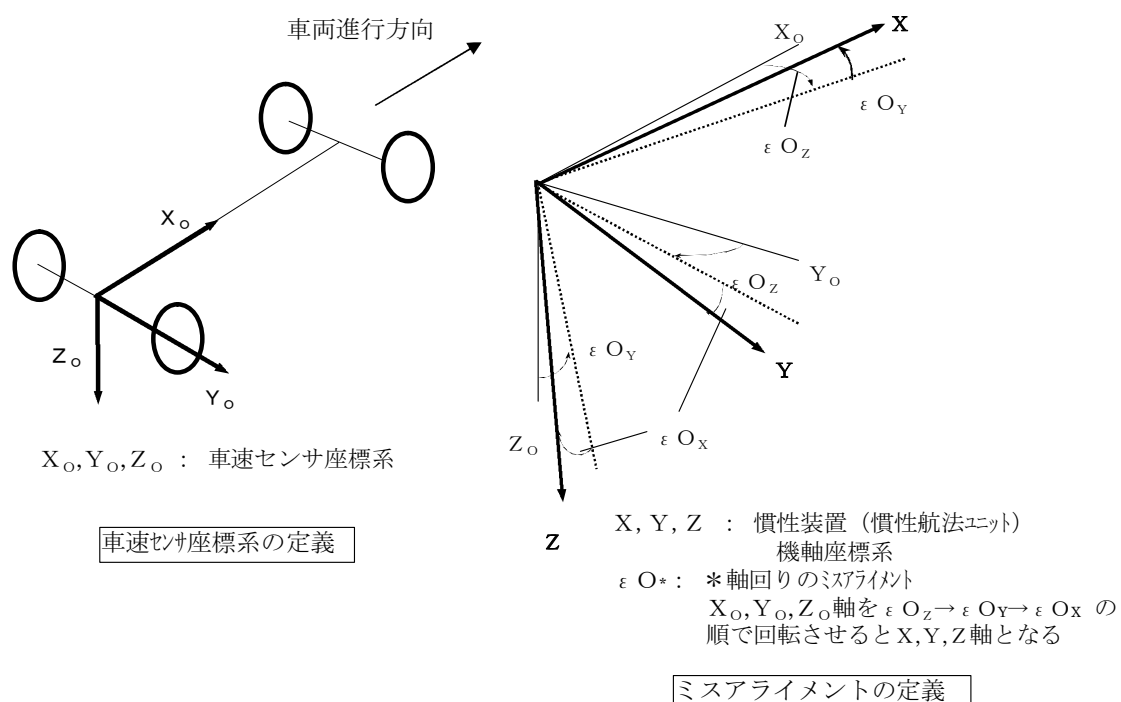


図 4 ミスアライメントの定義

3.2 方位角スレーブ機能

方位角スレーブ機能は、車両静止中に計測される方位角を車両静止直後の方位角にスレーブすることにより、方位角誤差の増大を防ぐ機能です。

GPSは、車両がある程度の速度で移動している場合、良好な方位角精度を発揮しますが、車両が停止している場合、GPSは方位角を検出することはできません。そのため、車両走行時は、GPSの方位角を使用した複合航法を行ないますが、低速度や静止状態では複合航法を止め、慣性センサによる方位角演算を行うこととなります。小型慣性装置で使用する慣性センサは、サイズ、コストの低減のため小型・低精度なセンサであり誤差が大きく、ジャイロデータを積分して得られる方位角の誤差は、時間の経過とともに増大します。そのため、例えば長時間静止するような運用では、方位角誤差の増大により精度を確保できない場合があります。

使用しているジャイロのバイアス精度は数°/Hであり、本機能を使用しない場合、1時間でおおよそ数°の方位角誤差となりますが、スレーブ機能により仕様値 0.5° rms 以下を満足します。

3.3 機能の確認

今回の機能を追加した装置を車両に搭載し、車速センサ調整機能を実施した後、位置及び方位角が既知の基準点まで車両を走行させ、基準点に停止した状態で位置、方位・姿勢角データを測定しました。

表 2 に位置、方位角・姿勢角精度の結果を示します。

当結果から、調整機能で推定されたスケールファクタ誤差とミスアライメントを使用して計測された航法データの精度は良好であり、車速センサ調整機能は正常に動作していることを確認しました。

また、長時間の停止においても、方位角の誤差は増大せず仕様値 0.5° rms 以下であり、方位角スレーブ機能は正常に動作していることを確認しました。

表 2 試験結果

| | 位置誤差 (CEP) | 方位角誤差 (RMS) | 姿勢角誤差 (RMS) |
|----|---------------|----------------|----------------|
| 結果 | 2.7m | 0.42° | 0.07° |
| 仕様 | 10m 以下 | 0.5° 以下 | 0.1° 以下 |

4 おわりに

陸上用ローコスト小型 FOG 慣性装置の機能向上について記述してきました。

今回の開発は、装置自身の低価格、小型化を行ったばかりでなく、機能向上による運用効率の改善という観点からもコスト低減を提供できるものと考えます。

また、陸上用慣性装置として初めて FOG を採用し、しかも、慣性センサ(FOG、加速度計)は航空電子の開発品であり、サイズ、性能等フレキシブルな対応が可能であったことも今回の開発のポイントでありました。

今後もさらなる小型・低価格化は必須であると考えられ、

- さらに低精度な(すなわち低価格な)慣性センサに対応した複合航法アルゴリズム
- 様々な運用に対応できる機能のさらなる向上

などに取り組み、様々なお客様のニーズに応えると同時に、陸上用小型慣性装置の新規市場開拓を行なっていきます。